



Intraossäre Infusionstechnik

Das Anlegen eines Gefäßzugangs beim kritisch kranken oder verletzten Säugling und Kleinkind ist auch in den Händen von erfahrenem Medizinalpersonal nicht immer innerhalb nützlicher Frist gewährleistet [1]. Säuglinge und Kleinkinder haben bereits von vornherein durch die kleineren anatomischen Verhältnisse, wie die dickere subkutane Schicht, schwierigere Punktionsverhältnisse. Kommen zusätzlich Hypovolämie, Vasokonstriktion und/oder Kälte dazu, wird es auch für den Erfahrenen sehr schwierig oder gar unmöglich, einen Venenzugang anzulegen.

Die intraossäre Infusionstechnik hat sich in den letzten 20 Jahren als sichere Alternativtechnik zur schnellen Etablierung eines Gefäßzugangs bei dringend benötigter Medikamenten- und Flüssigkeitsgabe bei vitalgefährdeten Kindern entwickelt (■ **Abb. 1**). Sie ist mittlerweile auch als fester Bestandteil in den Reanimations- und Notfallmedizinrichtlinien des European Resuscitation Council (ERC), der American Heart Association (AHA) und des International Liaison Committee of Resuscitation (ILCOR) für Kindern und Erwachsene verankert [2, 3, 4].

Die intraossäre Infusion bietet vor allem dem in der pädiatrischen Notfall- und Rettungsmedizin wenig erfahrenen Arzt oder Rettungsanwärter die Möglichkeit, schnell, effizient und sicher einen Gefäßzugang zur dringend benötigten Medikamenten- und Flüssigkeitsgabe beim vital gefährdeten Kind zu etablieren.

Obwohl heute die intraossäre Infusionstechnik einen international anerkannten alternativen Gefäßzugang in der Notfallmedizin darstellt, ist die intraossäre Infusionstechnik oft noch ein „Tabu“ und wird entsprechend auch zu we-

nig eingesetzt. Mangel an Kenntnissen, fehlende Übung sowie Hemmungen verhindern oft die Anwendung dieser lebensrettenden Technik. Die folgende Arbeit soll eine Übersicht über die Geschichte, Methodik sowie Indikationen und Risiken der intraossären Infusionstechnik hauptsächlich im Hinblick auf den pädiatrischen Notfallpatienten geben.

Historisches

Anfang der 1920er Jahre wurde erstmals auf die Möglichkeit der Verabreichung von Flüssigkeiten durch einen intraossären Zugang hingewiesen [5, 6, 7]. In den 1940er Jahren förderte Tocantins die Einführung der intraossären Infusionstechnik in die klinische Praxis [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Durch Verbesserung von Ausrüstung und Technik entwickelte sie sich bald zu einer oft benutzten Methode bei Kindern für die parenterale Gabe von Flüssigkeiten, Blut und Medikamenten über mehrere Tage [14]. Im 2. Weltkrieg erlangte die intraossäre Infusion als Zugang für die Volumentherapie ihre Bedeutung auch bei erwachsenen Patienten [15]. Als in den 1950er Jahren Plastikkanülen zur intravenösen Katheterisierung aufkamen, geriet die intraossäre Infusionstechnik weitgehend in Vergessenheit und wurde sogar als Obskurität angesehen.

1983 veröffentlichte Turkel einen Brief im „*American Journal of Diseases of Children*“, in dem er fragte, warum die intraossäre Technik in pädiatrischen Notfallsituationen ignoriert werde, obwohl sie in vielen Situationen lebensrettend sein könnte. Anlass zu diesem Brief war der Tod eines Kindes mit Tonsillennachblutung nach vergeblicher Suche eines intravenösen Zugangs zur Anästhesie-

induktion [16]. Diese und weitere Publikationen waren Anfang der 1980er Jahre ausschlaggebend, dass die intraossäre Infusionstechnik eine Renaissance als Gefäßzugang in Notfallsituationen bei Patienten mit schwierigen oder fehlenden Venenverhältnissen erlebte und heute als solcher in der pädiatrischen Notfalltherapie fest verankert ist [2, 3, 4, 17].

Prinzip der intraossären Infusion

Die intraossäre Infusion ist im Grunde genommen eine Infusion in den intramedullären Blutgefäßraum des roten Knochenmarks. Dabei können mittels einer durch den Knochenkortex in die Markhöhle eingeführten Nadel Infusionslösungen, Blutprodukte und Medikamente ins Gefäßsystem verabreicht werden. Diese gelangen direkt in das Netzwerk der venösen Marksinusoide, von dort in den Zentralvenenkanal des Knochenmarks und danach via Vv. nutrientes und Vv. emissariae in den venösen Systemkreislauf (■ **Abb. 2**). Die intramedullären Gefäße und Sinusoide im Knochenmark sind von harten Knochenwänden gestützt und geschützt, die auch bei Schock und Herzstillstand nicht kollabieren.

Bei der Geburt sind die Markhöhlen aller Knochen mit hämatopoetischen Zellen gefüllt, die als rotes Knochenmark bezeichnet werden. Im Verlauf der Entwicklung des Kindes ersetzen Fettzellen (gelbes Knochenmark) zunehmend das blutbildende rote Knochenmark, sodass rotes Knochenmark später nur noch in Wirbelkörpern, Rippen, Schädel, Sternum, Becken und in den Metaphysen der Röhrenknochen gefunden wird. Letztere stellen die Hauptpunktionsorte in der heutigen klinischen Praxis bei Kindern dar.



Abb. 1 ▲ Intraossärnadel in der rechten Tibia eines 11 Monate alten Säuglings

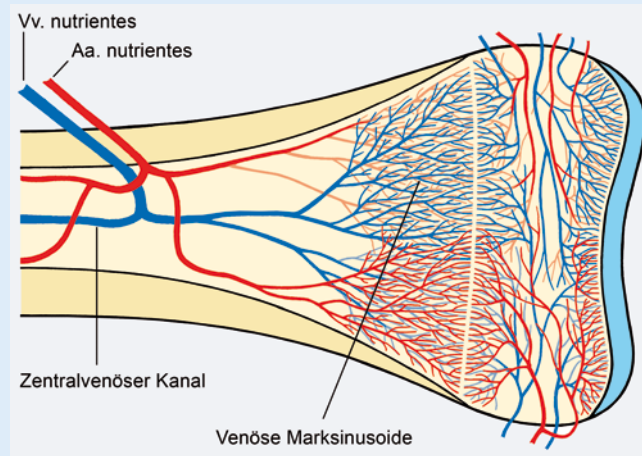


Abb. 2 ▲ Prinzip der intramedullären Zirkulation

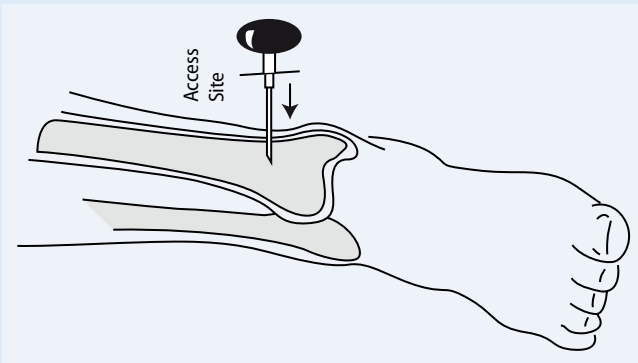


Abb. 4 ▲ Punktionsstelle an der distalen Tibia

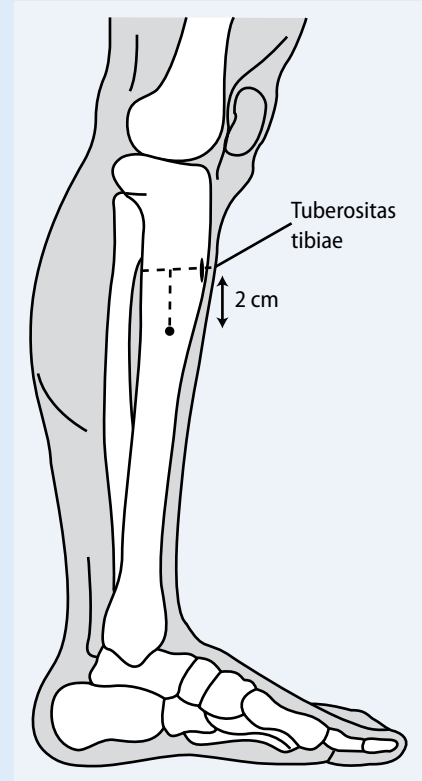


Abb. 3 ► Punk-
tionsstelle an
der proximalen
Tibia

Die Punktion des Knochens ist vergleichbar mit der Punktion einer knöchernen Vene, die auch bei Kälte, Vaso-
konstriktion und Hypovolämie nicht kol-
labiert.

Punktionsstellen

In den 1940er Jahren war das Sternum der übliche intraossäre Punktionsort bei erwachsenen Patienten [8, 18], da diese Punktionsstelle gut zugänglich und mark-
haltig ist. Nur wenige Autoren empfahlen diese Punktionsstelle auch bei Kindern [19]. Aufgrund letaler Komplikationen

und der Unvereinbarkeit mit extrathorakaler Herzkompression wurde dieser Punktionsort weitgehend verlassen. Vor allem bei Kindern sollte auf keinen Fall eine Punktion des Sternums durchgeführt werden [9, 10], da das Risiko einer Punktion des Mediastinums und somit eine Ver-
letzung des Herzens oder der großen Ge-
fäße erheblich ist [20]. Das Knochenmark im Sternum von Kindern ist unregelmäßig verteilt und nicht groß genug, um die transfundierten Flüssigkeitsmengen adäquat aufzunehmen [11, 21]. Außerdem ist das Sternum beim Kind zu dünn und un-

terentwickelt, um eine sichere, stabile Platzierung der Nadel zu gewährleisten.

Charakteristika einer geeigneten Punk-
tionsstelle für die IOT sind in **Tab. 1** aufgeführt. Die proximale Tibia stellt die optimale Stelle für die intraossäre Infu-
sion bei Kindern unter 6 Jahren in Not-
fallsituationen dar [22, 23]. Des Weiteren kommt die Punktion an der distalen Tibia und am distalen Femur in Frage. Alternativ kann bei großen Becken- und Abdo-
minaltraumen mit ungewissem Blutfluss in den Thorax der proximale Humerus punktiert werden.

Indikationen für die Intraossärnadel beim Kind <6 Lebensjahren

- **Primär:** Herzstillstand oder ausgeprägter hypovolämer Schock
- **Sekundär:** vital bedrohte Kinder, falls nach 90–120 s intravenöse Punktionsversuche erfolglos blieben

Punktion an der proximalen Tibia

Der Punktionsort befindet sich auf der flachen, breiten anteromedialen Oberfläche der proximalen Tibia, ca. 1–2 cm (1–2 Fingerbreiten) unterhalb der palpablen Tuberositas tibiae (■ **Abb. 3**). Die Tibia soll einerseits wegen der Verletzungsgefahr der Wachstumsfuge beziehungsweise des Kniegelenks nicht zu proximal eingestochen werden. Andererseits sollte sie auch nicht zu distal punktiert werden, da der Knochen dichter und daher schwieriger zu punktieren ist. Wichtig ist, darauf zu achten, dass nicht auf der Tibiavorderkante punktiert wird, da hier der Knochen sehr hart ist, was zu Fehlpunktionen und Komplikationen führt. Die Nadel wird in einem Winkel von 90° zur Haut- bzw. Knochenoberfläche angesetzt.

Die intraossäre Punktion in die proximale Tibia ist beim ersten Versuch in 77% der Fälle erfolgreich und benötigt in den meisten Fällen weniger als 1 min [24]. Diese Erfolgsquote basiert auf den zahlreichen Vorteilen dieser Punktionsstelle. Die proximale Tibia sollte mit den manuellen Handnadeln nur bis zum Alter von 5–6 Jahren punktiert werden. Danach wird diese Stelle zu dick und ist zunehmend schwieriger zu durchbohren [22].

Im Gegensatz zum Kind, bei welchem sich die intraossäre Punktionsstelle an der proximalen Tibia 1–2 cm unterhalb der Tuberositas befindet, wird beim Erwachsenen auf Höhe der Tuberositas (EZ-IO™-Intraossärinfusionssystem) oder 1 cm darüber (Bone Injection Gun, BIG) punktiert. Dies nicht zuletzt, weil der dünnere Knochenkortex im Bereich gegen die Epiphyse einfacher zu durchdringen ist als die dicke Kompakta im diaphysären Bereich.

Punktion an der distalen Tibia

Bei der Punktion der distalen Tibia liegt die optimale Einstichstelle in der kranialen Verlängerung der Mittellinie des medialen

Zusammenfassung · Abstract

Notfall Rettungsmed 2007 · 10:99–116 DOI 10.1007/s10049-007-0900-0
© Springer Medizin Verlag 2007

M. Weiss · J. Gächter-Angehrn · D. Neuhaus
Intraossäre Infusionstechnik

Zusammenfassung

Die intraossäre Infusionstechnik ist zum festen Bestandteil in der pädiatrischen aber auch adulten Notfallmedizin geworden und gehört heute zu den wichtigsten Fertigkeiten eines Notarztes, Pädiaters, Anästhesisten und Intensivmediziners. Die intraossäre Infusionstechnik ist eine sichere, zuverlässige und schnelle Methode, um bei Kindern unter 6 Jahren mit Kreislaufstillstand oder schwerem hypovolämischem Schock primär und beim vital gefährdeten Kind mit schwierigen Venenverhältnissen sekundär einen Gefäßzugang zu legen. Auf diesem Weg können alle in der Notfallmedizin intravenös verabreichten Medikamente und Flüssigkeiten nahezu uneingeschränkt, im Vergleich zur intravenösen Gabe in äquivalenter Dosierung und mit vergleichbaren Anschlagszeiten appliziert werden. Kenntnisse über Indikationen, Punk-

tionsstellen, Material, Technik, Vorsichtsmaßnahmen und Komplikationen sowie Training am Übungsknochen sind wichtig für den sicheren und erfolgreichen klinischen Einsatz. Bei richtiger Indikationsstellung gibt es abgesehen von lokalen Gründen wie Frakturen, voroperierter Knochen oder kürzlich vorausgegangene Punktionsversuche sowie Durchblutungsstörungen der betroffenen Extremität keine absoluten Kontraindikationen für eine intraossäre Infusion. Komplikationen sind bei richtiger Anwendung und Handhabung extrem selten und das Risiko steht in keinem Verhältnis zu den Vorteilen einer intraossären Infusion beim vital bedrohten Patienten.

Schlüsselwörter

Intraossäre Infusion · Gefäßzugang · Punktion · Knochenmark

Technique of intraosseous infusion

Abstract

Intraosseous infusion has become a cornerstone in pediatric and adult emergency medicine and belongs to one of the most important knowledge and skills of an emergency physician, pediatrician, anesthetist and intensivists. Intraosseous infusion is a safe, reliable and fast technique for primary vascular access in children <6 years of age with cardiac arrest or severe hypovolaemic shock and for secondary vascular access in the child in life-threatening conditions and difficult venous access. All drugs and fluids used in emergency medicine can be used by the intraosseous route almost without restriction and in similar dosage and efficiency as by the venous route. Besides local factors such as fracture, previous orthopedic or surgical procedures, recent intraosseous puncture as well as vas-

cular disturbances of the extremity there are no general contraindications for intraosseous infusion if indication is chosen correctly. Incidence of complications is low if intraosseous infusion technique is correctly performed and the potential risks are negligible compared with the advantages for the life-threatening child. Knowledge about indications, sites of puncture, equipment, technique, precautions and complications as well as training with mannequin bones are mandatory for the safe and successful clinical use of this technique.

Keywords

Intraosseous infusion · Vascular access · Puncture · Bone marrow

Tab. 1 Kriterien für geeignete Punktionsstellen zur intraossären Infusion

Oberflächliche Lage des zu punktierenden Knochens
Leicht auffindbare Orientierungspunkte oder Landmarken
Punktionsort ist gut zugänglich und erlaubt auch Manipulationen am Patienten in Rückenlage (Intubation, Herzmassage)
Flache Knochenoberfläche zur Vermeidung des Abrutschens bei der Punktion
Dünne Knochenkompakta zur Erleichterung der Penetration der Nadel
Geräumige Markhöhle zur leichteren Infusion
Rotes Knochenmark im Punktionsbereich zur besseren Aufnahme des Injektats in den Kreislauf
Keine Nerven, Gefäße oder sonstige verletzlichen Strukturen vor oder hinter dem punktierten Knochen

Tab. 2 Material für das Anlegen und Betreiben sowie zur Sicherung und Fixation einer intraossären Infusion

Sterile Handschuhe
Desinfektionsmittel
Sterile Tupfer zur Desinfektion
Intraossärnadeln
Lochtuch (optional)
Lokalanästhetikum (inkl. Spritze und Nadel)
Infusionsleitung mit Dreiwegehahn und Verlängerung
Klebeband
Lagerungsschiene, elastische Binde

Malleolus, 2–3 cm oberhalb der malleolären Kuppe (■ **Abb. 4**). An dieser Stelle können keine Strukturen beschädigt werden, insbesondere nicht die V. saphena und die Wachstumsfuge. Die Nadel wird in einem Winkel von 90° zur Haut- bzw. Knochenoberfläche angesetzt. Diese Stelle ist günstig für eine intraossäre Injektion, da der Knochen oberflächlich liegt und relativ flach ist.

Die distale Tibia sollte zur intraossären Punktion verwendet werden, falls an der proximalen Tibia keine Punktion möglich ist (Fraktur, vorausgehende Fehlpunktion). Im Gegensatz zur proximalen Tibia kann beim Einsatz von manuellen Intraossärnadeln die distale mediale Tibia als Punktionsort auch bei älteren Kindern und Erwachsenen verwendet werden und ist daher die bevorzugte Punktionsstelle für intraossäre Nadeln bei Kindern >6 Lebensjahren und bei Erwachsenen [25, 26].

Von einigen Autoren wird diese Punktionsstelle gegenüber der proximalen Tibia sogar generell bevorzugt [25].

Punktion am distalen Femur

Die Punktionsstelle am distalen Femur, an der Mittellinie der Vorderfläche des Femurs, 1–2 cm oberhalb der Patella (2–3 cm oberhalb der Kondylen). Die Nadel wird in einem Winkel von 90° zur Femuroberfläche angesetzt. An dieser Stelle können nur wenige Strukturen verletzt werden. Das darunter befindliche Knochenmark ist relativ groß [23], sodass höhere Flussraten erreicht werden können [27].

Beim distalen Femur handelt es sich normalerweise nicht um den Punktionsort der ersten Wahl. Es ist schwieriger, durch die Weichteile hindurch die knöchernen Punktionsstelle zu finden. Der Kortex ist dichter und schwieriger zu penetrieren. Die Nadel kann leichter abrutschen und dadurch die Nachbarstrukturen verletzen [28]. Zusätzlich muss durch eine dicke Muskel- und Fettschicht punktiert werden, weshalb eine längere intraossäre Nadel benötigt wird [29]. Damit sind Tiefenmarkierungen auf Intraossärnadeln nicht adäquat und gewisse Nadeltypen gar zu kurz. Weiterer Nachteil ist, dass durch die Sehne des M. quadriceps punktiert wird, sodass bei Flexion oder Extension dieses Muskels die intraossäre Nadel dislozieren kann [30].

Punktion am proximalen Humerus

Der Humerus wird als Punktionsort zur intraossären Infusion bei Erwachsenen in der Literatur aufgeführt [31], hat aber nie an Beliebtheit gewonnen. Nach größeren Verletzungen des Beckens oder Abdomens mit beeinträchtigtem venösem Rückfluss, mag eine intraossäre Infusion oberhalb des Diaphragmas sinnvoll sein. In diesen Situationen bietet sich der proximale Humerus als intraossäre Punktionsstelle an [32]. In neuester Zeit gewinnt dieser Zugang in der Erwachsenenmedizin an Akzeptanz, da bei engen Platzverhältnissen, z. B. in einer Ambulanz, die intraossäre Infusion auch von einem am Kopf des Patienten stehenden oder sitzenden Helfer angelegt werden kann. Dieser Zugang ist seit kurzem auch vom Hersteller

für das EI-IO™ Intraossärinfusionssystem beim Erwachsenen freigegeben worden.

Punktion am Sternum beim Erwachsenen

Beim Kind ist die Punktion des Sternums für die intraossäre Infusionstherapie verboten! Mit der Entwicklung von intraossären Infusionspunktionsgeräten mit limitierter Eindringtiefe wie zum Beispiel das (F.A.S.T.) wird diese Punktionsstelle jedoch in neuester Zeit bei erwachsenen Patienten wieder propagiert [26, 31, 33]. Vorteile des Sternums zur intraossären Punktion beim Erwachsenen sind die dünne Kompakta, welche eine einfache Penetration erlaubt, und die gute Flüssigkeitsaufnahme, aufgrund der reichlichen venösen Drainage des Sternums unter dem Einfluss des negativen thorakalen Venendrucks. Letzteres erlaubt, größere Flüssigkeitsmengen pro Zeit beim erwachsenen Patienten zu infundieren.

► Beim Kind ist die Punktion des Sternums zur intraossären Infusion verboten!

Punktionsmaterial

Seit der Entdeckung der intraossären Infusionstechnik in den 1920er und 1930er Jahren sind eine Vielzahl an Punktionskanülen (■ **Abb. 5**) und Apparaten/Vorrichtungen (■ **Abb. 6**) für die intraossäre Infusion vorgeschlagen, entwickelt und in die Praxis eingeführt worden. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Nadeln und Apparaten/Vorrichtungen zum Anlegen einer intraossären Infusion.

Punktionsnadeln

Im Prinzip kann jede Stahlkanüle, die ein inneres Stilet hat und somit beim Einführen nicht verstopft, für die intraossäre Infusion verwendet werden (■ **Abb. 7**). Eine ideale Intraossärnadel zeichnet sich aus durch:

- einen möglichst großkalibrigen Schaft zur erleichterten Infusion,
- eine besonders geschliffene Spitze (Trokler) zur besseren Knochenpenetration,



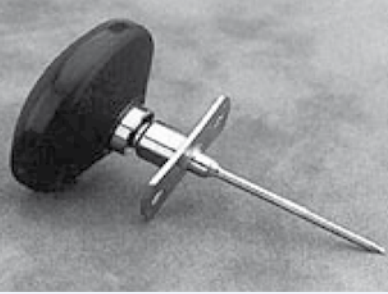

<p>Cook-Intraossärnadel</p> <p>Größen:</p> <p>Standard Tip Design</p> <p>Lancet 35°: 16, 18 Gauge Trocar 45°: 14, 16, 18 Gauge Pencil Point: 16, 18 Gauge</p> <p>Verstellbare Radkappe: Trocar 45°: 15,5 Gauge</p> <p>http://www.cookmedical.com</p>	 <p>Standardradkappe</p>	<p>Bei der Standard-Tip-Design-Nadel kann man zwischen 3 verschiedenen Nadelspitzen wählen: Lancet 35°, Trocar 45° und Pencil Point. Diese Nadeln tragen eine Markierung 1 cm proximal der Nadelspitze, um die Einstichtiefe abzuschätzen.</p>
<p>Dieckmann Modifikation der Cook-Intraossärnadel</p> <p>Größen:</p> <p>Standard Hub-Design Trocar 45°: 14, 16, 18 Gauge</p> <p>Edelstahl Hub-Design Trocar 45°: 15,5 Gauge</p> <p>http://www.cookmedical.com</p>	 <p>Edelmetallradkappe</p>	<p>Bei der Dieckmann-Modifikation sind 2 laterale Seitenlöcher am Nadelende vorhanden, um den Fluss zu sichern, falls sich die Nadelspitze an der Kortexhinterwand verstopfen oder anstehen sollte. Auch diese Nadel trägt eine Markierung 1 cm proximal der Nadelspitze.</p>
<p>Cook-Intraossärnadel Sussmane-Raszynski</p> <p>Größen:</p> <p>Trocar 45°: 15,5 Gauge</p> <p>http://www.cookmedical.com</p>	 <p>Verstellbare Radkappe + Gewinde</p>	<p>Die Sussmane-Raszynski-Nadel verfügt über ein Schraubengewinde. Bei Nadeln ohne Gewinde ist die Gefahr, versehentlich den hinteren Knochenkortex zu durchstechen, größer als bei Nadeln mit Gewinde. Die Nadeln ohne Gewinde sind normalerweise länger und brauchen bedeutend mehr axialen Druck über dem Nadelchaft, um senkrecht den Kortex zu durchstechen. Die neueren Nadeln mit Gewinde brauchen weniger Druck beim Einführen, sodass sie seltener zu Flüssigkeitslecks führen. Trotz dieser Vorteile ist die Nadel technisch schwieriger einzuführen als andere Nadeltypen [39].</p>
<p>Cook-Intraossärnadel SurFast®</p> <p>Größen:</p> <p>15 Gauge 12 Gauge</p> <p>http://www.cookmedical.com</p>		<p>Die SurFast®-Nadeln haben ein Schraubengewinde, 2 Seitenlöcher und 3 Facettenschliffe. Man kann zwischen einem kleinen und großen Handgriff wählen. Diese Nadeln benötigen eine initiale Hautinzision, um am Knochen greifen zu können. Im Vergleich zu anderen manuellen Intraossärnadeln zeigte die SurFast®-Nadel die beste Durchstechungskontrolle und war die stabilste hinsichtlich versehentlicher Lockerung [41].</p>

Abb. 5 ▲ Kommerziell erhältliche Nadeln für die intraossäre Infusion

- einen kurzen, soliden Schaft für eine gute Längs- und Drehstabilität,
- einen Handgriff zur Kraftübertragung auf die Nadel,
- einen Trocar zur Vermeidung der Lumenverlegung bei der Punktion,
- seitliche Öffnungen zum Offenhalten der Nadel bei Kontakt mit dem gegenüberliegenden Endost oder gar Penetration in den Kortex,

- die Möglichkeit, die Eindringtiefe abzulesen oder gar die maximale Eindringtiefe einzustellen
- einen Anschluss für Luer-Lock-Standardinfusionssets.

Ein Nachteil bei der Benutzung einer nicht speziell für die intraossäre Infusion konzipierten Nadel ist, dass die Zeit für das Setzen der Nadel dadurch verlängert

wird und die Gefahr des Verbiegens der Nadel größer ist [34, 35].

Neben kommerziell erhältlichen Intraossärnadeln (■ **Abb. 5**) sind folgende Nadeln erfolgreich für die intraossäre Infusion angewendet worden:

- Knochenmarkbiopsie- und Aspirationsnadeln (Cave: Anschlussinkompatibilitäten!),
- Stahlinjektionsnadeln,

<p>First Access for Shock and Trauma (FAST)</p> <p>(Pyng F.A.S.T. 1™ IO Infusionssystem)</p> <p>http://www.pyng.com</p>		<p>Das FAST-1-System wurde für die intraossäre Infusion ins Sternum von Erwachsenen entwickelt. Die korrekte Punktionsstelle, das Manubrium des Sternums 1,5 cm kaudal des Jugulums, wird mit Hilfe eines Zielpfisters lokalisiert. Danach wird der Einführungsgriff genau positioniert. Mittels eines Federsystems wird eine zentral gelegene Nadel in den Knochenmarkraum des Sternum katapultiert. Eine Schutzkappe schützt die Infusionsstelle während des Gebrauchs der intraossären Leitung. FAST zeichnet sich durch eine hohe Flussrate aus und schränkt die Herzmassage nicht ein [41–46].</p>
<p>Bone injection gun (BIG)</p> <p>Pädiatrische Variante</p> <p>Größe 18 G Kanülenlänge: 34,9 mm Eindringtiefe 0,5–1,5 cm</p> <p>Empfohlene Einstellung:</p> <p>0–3 Jahre: 0,5–1,0 cm 3–6 Jahre: 1,0–1,5 cm 6–12 Jahre: 1,5 cm</p> <p>Variante für Erwachsene</p> <p>Größe 15 G Kanülenlänge: 43,3 mm Eindringtiefe 1,5–2,5 cm</p> <p>http://www.waismed.com</p>	 	<p>BIG ist eine federgespannte Stahlkanüle mit Stilet und Trokar, die nach Entsicherung und Auslösen des Spannmechanismus von einer Feder in den Knochen getrieben wird. Eine Schraubhülse erlaubt, entsprechend der Punktionsstelle und des Patientenalters die Nadeleindringtiefe einzustellen. Durch Druck auf das entsicherte Gehäuseende wird die Kanüle abgeschossen. Nachdem die Nadel im Knochen fixiert ist, werden das Stilet herausgenommen und die Infusion angeschlossen. Als Punktionsort wird die proximale Tibia gewählt. Andere Punktionsorte wie medialer Malleolus, distaler Radius und Humeruskopf sind mit dieser Technik ebenfalls beschrieben worden. Als mögliche Fehler bei der Anwendung werden einerseits falsche Handhabung, Dislokation der eingeführten Nadel und falsche Positionierung der Nadel beschrieben [31, 42, 44, 46, 47, 48].</p>
<p>EZ-IO™</p> <p>Pädiatrische Nadel</p> <p>Größe: 15 G Eindringtiefe: 1,5 cm 3–39 kg Körpergewicht</p> <p>Erwachsenennadel</p> <p>Größe: 15 G Eindringtiefe: 2,5 cm Ab 40 kg Körpergewicht</p> <p>http://www.vidacare.com</p>	 	<p>Das EZ-IO™ Intraossärinfusionssystem besteht aus einer batteriebetriebenen Bohrmaschine, welche speziell für das schnelle Setzen von intraossären Infusionen bei Erwachsenen entwickelt wurde, und Intraossärnadelaufsätzen für Erwachsene und Kinder. Durch sachte, aber schnelle Bohrbewegungen wird eine hohle sterile Nadel mit integriertem Stilet zielsicher bis zu einer vorgegebenen Eindringtiefe in den Knochenmarkraum gedreht. Die Genauigkeit der Nadelplatzierung garantiert den festen Sitz der Nadel im Knochen und verhindert weitgehend die Extravasation. Die Handhabung der Bohrmaschine ist einfach und hat eine Erfolgsquote von 97%. Die durchschnittliche Eindringzeit vom Beginn des Bohrvorgangs bis zum Anhängen der mitgelieferten Infusionsleitung beträgt durchschnittlich 10 s. Als bevorzugter Punktionsort wird die proximale Tibia empfohlen [49–51].</p>

Abb. 6 ▲ Kommerziell erhältliche Geräte für die intraossäre Infusion

- Spinal- bzw. Lumbalpunktionsnadeln mit Trokar (Neugeborene und Säuglinge),
- Schmetterlingsnadeln (Butterfly; [36, 37]).

Je nach Alter werden für adäquate Flussraten unterschiedliche Nadelgrößen empfohlen [22, 27, 38]:

- <18 Monate: 20–18 G (1,1–1,3 mm),
- >18 Monate: 16–13 G (1,8–2,5 mm).

Im Notfall kann, falls nicht anders vorhanden, eine hohle Stahl-nadel für die intraossäre Injektion verwendet werden. Plastikkanülen haben sich jedoch nicht bewährt. Bei den modernen diagnostischen Knochenmarknadeln muss darauf geachtet werden, ob der Anschluss an ein Luer-Lock-Infusionsset gewährleistet ist, ansonsten muss eine Extraverbindungsleitung dem Set beigelegt werden.

Grundsätzlich sollten aber in der Praxis die kommerziell erhältlichen Intraossärnadeln zum Einsatz kommen. In der pädiatrischen Notfallmedizin haben sich die Intraossärnadeln der Firma Cook Critical Care (Bloomington, IN, USA) bisher am besten bewährt. Dabei sind Nadeln zu unterscheiden, die durch „Drehen und Drücken“, und Nadeln, welche durch „Schrauben“ durch den Knochenkortex ins Knochenmark eingebracht werden. Die verschiedenen Typen von Intraossärnadeln sind in **Abb. 5** aufgelistet und kommentiert.

Der Vorteil der Intraossärnadeln mit Schraubgewinde liegt darin, dass der Kraftaufwand geringer als bei den „Dreh-Druck-Nadeln“ ist, die Extravasation geringer und die Fixation im Knochen stabiler ist [39]. Als Nachteil jedoch fehlt der klassische Widerstandsverlust bei der Penetration in den Markraum als erstem Zeichen der erfolgreichen Punktion und einer korrekten Kanülenlage. Speziell zu erwähnen ist die Intraossärnadel mit Diekmann-Modifikation der Firma Cook Critical Care, die am distalen Ende 2 seitliche Öffnungen aufweist, welche auch bei Verlegung der Kanülenspitze (z. B. durch Anliegen der Kanülenspitze am gegenüberliegenden Endost oder Eindringen der Kanülenspitze in den gegenüberliegenden Knochenkortex) die Applikation von Flüssigkeiten und Medikamenten erlaubt.

Baxter bietet die sog. Jamshidi-Intraossärnadel mit einem verstellbaren Plastikschutz an (18G/15G). Dieser erlaubt eine bestimmte Nadellänge einzustellen, sodass die Nadel nicht zu tief eingeführt wird. Die generell kurze Nadel erlaubt eine gute Kraftübertragung. Die ganze Nadel mit Plastikschutz ist sehr handlich, was die Einführung vereinfacht [40]. Zusätzlich kann dieser Plastikschutz nach dem Einführen verstellt werden, damit sich die Nadel anschließend nicht verbiegt. Der bis auf Hautniveau gesenkte Plastikschutz erlaubt eine bessere Stabilisierung der Nadel. Die Baxter-Jamshidi-Intraossärnadel ist wie alle Cook-Intraossärnadeln mit Luer-Lock-Infusionssystemen kompatibel.

Geräte für die intraossäre Punktion/Infusion

Vor allem die Anwendung der intraossären Infusionstechnik bei Erwachsenen sowie in der Militärmedizin hat zur Entwicklung von Vorrichtungen geführt, welche es erlauben, auch durch harten und dicken Knochenkortex schnell und erfolgreich einen intraossären Zugang zu legen (**Abb. 6**; [40]). Dabei werden Geräte mit Federmechanismus wie das Pyng F.A.S.T.[™] IO Infusionssystem (FAST; [41, 42, 43, 44, 45, 46]) oder die Bone Injection Gun (BIG; [31, 42, 44, 46, 48]) und solche mit Bohrmaschine (Adult EZ-IO[™], Vidacare; [49, 50, 51]) unterschieden. BIG und EZ-IO[™] wurden bisher v. a. zur intraossären Infusion bei Erwachsenen angewendet und getestet. Gewisse Vorrichtungen sind aber auch für die pädiatrische Notfallmedizin sicherlich von Bedeutung, da die Kanüle schneller und technisch einfacher durch den Kortex ins Knochenmark einzubringen ist. Die Anwendung dieser Geräte wird von allen 3 Herstellern mittels Videos und Anwendungsrichtlinien auf der entsprechenden Website gezeigt (**Abb. 6**).

Bei Kindern kommen heute noch vorwiegend manuelle Intraossärnadeln zum Einsatz. Automatische Federsysteme oder Bohrmaschinengeräte für die intraossäre Infusion werden vorwiegend noch bei Erwachsenen eingesetzt, haben aber in Zukunft auch bei Kindern das Potenzial, die Punktionstechnik zu vereinfachen.



Abb. 7 ▲ Nadeln für die intraossäre Infusion



Abb. 8 ▲ Intraossäre Infusion bei einem 11-monatigen Säugling. Die intraossäre Punktion wurde anlässlich einer diagnostischen Knochenmarkentnahme in Allgemeinanästhesie durchgeführt. Siehe Video zum Beitrag unter www.NotfallundRettungsmedizin.de

Zusätzlich benötigtes Material

Zum Anlegen einer intraossären Infusion bedarf es je nach verwendetem Punktionmaterial steriler Handschuhe, Desinfektionsmaterial, Fixationsmaterial, Infusionsbesteck inkl. Spritzen sowie Material zur Lokalanästhesie. Dieses Material ist zumeist in der Notarztausrüstung oder auf einer Notfallstation zu finden. Es hat sich jedoch gerade in Ambulanzen und Helikoptern bewährt, fertig abgepackte Sets für die intraossäre Infusion zusammenzustellen, um im Notfall keine Zeit mit der Materialsuche zu verlieren (**Tab. 2**).

Technik der intraossären Infusion

Die Technik der intraossären Infusion (**Abb. 8**) ist in **Abb. 9** (Cook-Intraossärnadel) und in **Abb. 10** (EZ-IO[™]-Intraossärinfusionssystem) Schritt für Schritt am Beispiel der proximalen Tibia, der intraossären Punktionsstelle der ersten Wahl bei Kindern unter 6 Jahren, gezeigt und erläutert.

Im Folgenden soll auf einige wichtige Punkte beim Einsatz der Cook-Intraossärnadel näher eingegangen werden:











1	<p>Lagerung der unteren Extremität</p> <p>Zur intraossären Punktion der proximalen Tibia wird das Bein im Hüft- und Kniegelenk leicht abgewinkelt. Dies kann am besten mit einer kleinen Tuchrolle bewerkstelligt werden. Diese Lagerung erlaubt es den Unterschenkel distal zu umfassen und während der Punktion zu stabilisieren. Weiter reduziert eine Rolle unter dem Kniegelenk die Frakturgefahr bei der Punktion. Das Umfassen des Unterschenkels im Kniegelenkbereich, obwohl als Alternative zu einer Tuchrolle und zur Stabilisierung des Unterschenkels gelegentlich gezeigt, empfehlen wir nicht, da bei Abgleiten der Intraossärnadel oder bei akzidenteller Penetration der Nadel durch die dorsale Tibia erhebliche Verletzungsgefahr für den Operateur besteht.</p>	
2	<p>Desinfektion der Punktionsstelle und Landmarken</p> <p>Die Punktionsstelle inkl. Landmarken werden grossflächig desinfiziert. Dies kann mittels Wisch oder Sprühdeseinfektion mit einem gängigen Hautdesinfektionsmittel erfolgen. Von gewissen Autoren wird die Anwendung eines durchsichtigen Lochtuchs empfohlen. Dies jedoch verzögert in der Notfallsituation das Anlegen der intraossären Infusion, erschwert das Fassen der Tibia, muss wieder entfernt werden (Dislokationsrisiko der Nadel) und der Wert des Lochtuchs bei der intraossären Infusion ist fraglich, da nicht mit langen Kathetern sondern mit einer kurzen Intraossärnadel gearbeitet wird. Aus diesen Gründen verzichten wir auf ein Lochtuch.</p>	
3	<p>Palpation der Landmarken und Punktionsstelle</p> <p>Beim wachen Patienten wird die Haut und das Periost mit 1%igem Lidocain betäubt. Bei bewusstlosen Kindern ist eine lokale Unempfindlichkeit nicht erforderlich. Die Lokalanästhesie umfasst die Haut an der Punktionsstelle und das darunterliegende Periost. Die Lokalanästhesie kann nach oder vor der eigentlichen Desinfektion erfolgen. Im letzteren Fall mit einer eigenen vorausgehenden Desinfektion. Die Punktionsstelle an der proximalen Tibiae befindet sich 1-2 cm unterhalb der Tuberositas tibiae auf der antero-medialen Knochenfläche.</p>	
4	<p>Punktion des Knochenmarkraums</p> <p>Der Unterschenkel muss mit der einen Hand gut stabilisiert werden, damit ein Abrutschen der Nadel auf der Knochenoberfläche verhindert wird. Eine Hautinzision vor dem Ansetzen der Nadel ist nicht nötig. Die Intraossärnadel wird mit der anderen Hand mit Daumen und Zeigefinger gerade oberhalb der Tiefenmarkierung geführt und mit dem Thenar wird die Kraft auf den Nadelkopf übertragen. Die Intraossärnadel wird senkrecht durch die Haut aufs Periost gesetzt. Mit Rechts-Links-Drehbewegungen wird die Intraossärnadel weiter senkrecht durch den Knochenkortex vorgetrieben bis eine spürbare Widerstandsminderung oder ein Widerstandverlust eintritt. Anschliessend wird bei Bedarf die Nadel bis zur Markierung vorgetrieben.</p>	
5	<p>Entfernung des Stilettts</p> <p>Anschliessend wird mit der einen Hand die intraossäre Nadel fixiert und mit der andern Hand das Stilet aus der Intraossärnadel im Gegenuhrzeigersinn entfernt sowie der Halt der Nadel im Knochenkortex überprüft.</p>	

Abb. 9 ▲ Technik der intraossären Punktion und Infusion mit der Cook-Intraossärnadel an der proximalen Tibia

6	<p>Aspiration von Knochenmark</p> <p>Mittels einer direkt an die Intraossärnadel angesetzten Spritze kann Knochenmark aspiriert werden. Dass Knochenmark lässt sich dabei, wie auch bei der diagnostischen Punktion, gelegentlich nur zögerlich aspirieren. Das Aspirat kann für diagnostische Zwecke verwendet werden. Wichtig: Trotz korrekter Lage kann nicht immer rotes Knochenmark aspiriert werden. Nach der Aspiration von Knochenmark muss die Nadel sofort mit physiologischer Kochsalzlösung gespült werden, um eine Okklusion der Nadel zu vermeiden. Es empfiehlt sich initial 10 ml Kochsalzlösung forciert zu injizieren, um im Knochenmark den Weg für die Flüssigkeit etwas zu bahnen.</p>	
7	<p>Konnektion der Infusionsleitung</p> <p>Ein Infusionsset bestehend aus einer Infusionsleitung, Dreiweghahn und einer kurzen Verlängerung wird an die Intraossärnadel angeschlossen. Mittels des Dreiweghahns können Medikamente ohne Manipulationen an der Intraossärnadel appliziert werden. Zur genauen Verabreichung von Flüssigkeitsmengen kann eine 20ml oder 50ml Spritze an den Dreiweghahn angesetzt werden. Wichtig ist zu wissen, dass wache Patienten auf intramedulläre Druckschwankungen durch Bolus- oder Druckinfusion und durch Sog mit Schmerzen reagieren können. Die Flüssigkeiten sind entsprechend langsamer und behutsamer zu verabreichen. Alternativ können 2-4 ml Lidocain 1% intraossär appliziert werden.</p>	
8	<p>Sicherung der Infusionsleitung</p> <p>Eine sichere Fixierung der Infusionsleitung ist der beste Schutz der Intraossärnadel gegen Dislokation, Abbiegen oder gar Abknicken bedingt durch Manipulation oder akzidentiellen Zug am Infusionssystem. Das Anschliessen einer kurzen Verlängerung mit Dreiweghahn hilft beim Spritzen Manipulationen an der Intraossärnadel zu vermeiden und das Dislokationsrisiko zu reduzieren.</p>	
9	<p>Sicherung der Intraossärnadel</p> <p>Zur Fixierung der Intraossärnadel stehen nur beschränkt Mittel zur Verfügung. Ein nicht mehr routinemässig mitgelieferter sog. Molnar-Disk, welcher um die Intraossärnadel angelegt und dann mit Klebeband auf die Haut des Patienten fixiert werden kann, bietet etwas zusätzliche Stabilität. Gewisse Intraossärnadeln haben eine Radkappe oder ein Plastikgehäuse, welches bis auf Hautniveau geschraubt werden kann. Für den Transport des Patienten kann das entsprechende Bein gegebenenfalls in einer Schiene fixiert werden.</p>	
10	<p>Überwachung der Punktionsstelle</p> <p>Die Einstichstelle muss sorgfältig überwacht werden, insbesondere auf grössere Flüssigkeitsaustritte ins Gewebe als Hinweis für eine Fehllage oder Dislokation der Intraossärnadel. Kleinere Schwellungen aus dem Bohrkanal rund um die Nadel können gelegentlich vorkommen. Generell vermeiden wir die Verpackung der Intraossärnadel mit Kompressen und elastischen Binden, da diese die Sicht auf die Punktionsstellenregion verhindern und kaum zur Stabilität beitragen.</p>	




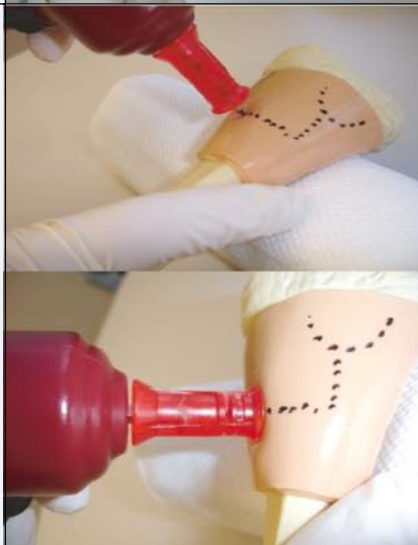
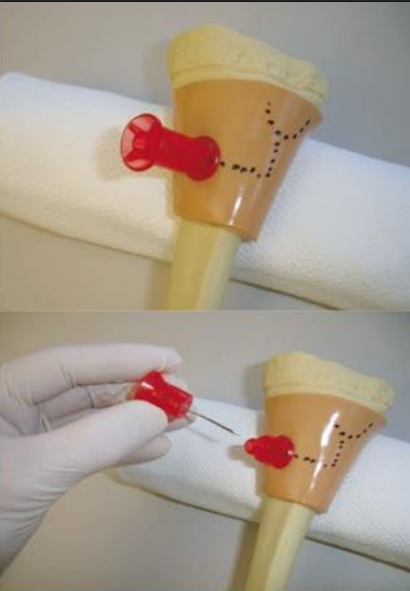
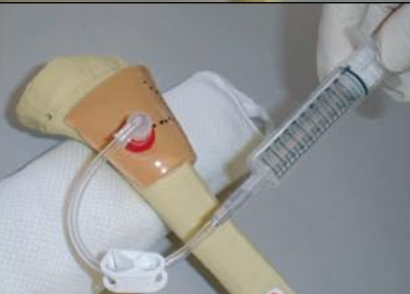



1	Palpation der Landmarken und Punktionsstelle Die Lagerung der zu punktierenden Extremität erfolgt nach den Kriterien wie sie in Abb. 8 beschrieben sind. Die Tuberositas tibiae wird palpirt und die Punktionsstelle auf der anteriomedialen Tibia bestimmt.	
2	Desinfektion der Punktionsstelle und der Landmarken Die Punktionsstelle inkl. Landmarken werden grossflächig desinfiziert. Dies kann mittels Wisch- oder Sprühdeseinfektion mit einem gängigen Hautdesinfektionsmittel erfolgen. Auf ein Lochtuch kann verzichtet werden. Obwohl der Hersteller beim wachen Patienten nicht zwingend eine Lokalanästhesie empfiehlt, kann die Haut und das Periost mit Lidocain 1% vorausgänglich anästhesiert werden.	
3	Vorbereiten der Bohrmaschine mit Intraossärnadel Die Hülse mit der Intraossärnadel wird geöffnet und die Bohrmaschine an das distale Nadelende angedockt. Die Nadel mit Stillet bleibt an der Bohrmaschine mittels magnetischer Anziehung. Anschliessend wird die Schutzkappe von der Nadelspitze entfernt.	
4	Punktion des Knochenmarkraums Während eine Hand das Bein stabilisiert, wird mit der andern Hand die Intraossärnadel mit laufender Bohrmaschine durch die Haut senkrecht auf den Knochen gesetzt. Mit der Nadelspitze auf Knochenniveau sollte die Markierung an der Nadel immer noch sichtbar sein, ansonsten ist die Nadel zu kurz. Dann wird mit laufender Bohrmaschine die Nadel mit konstantem festem Druck senkrecht zur Knochenoberfläche durch den Kortex getrieben. Sobald der Plastikkörper die Haut berührt oder ein plötzliches Nachlassen des Widerstandes spürbar ist, soll die Bohrmaschine gestoppt werden. Beim Einbohren der Nadel soll nicht zu viel Druck gegeben werden, ansonsten kommt die Bohrmaschine zum Stillstand (DD: Fehlende Batteriespannung).	

Abb. 10 ▲ Technik der intraossären Punktion und Infusion mit dem EZ-IO™-System an der proximalen Tibia

<p>5</p>	<p>Entfernung der Bohrmaschine und des Stilettts</p> <p>Während die eine Hand den Plastikkörper der Intraossärnadel festhält, wird die Bohrmaschine entfernt und das Stylet im Gegenuhrzeigersinn aus der Nadel gedreht.</p>	
<p>6</p>	<p>Konnektion der Infusionsleitung</p> <p>Die mit dem EZ-IO Intraossärinfusionsset mitgelieferte gewinkelte Infusionsleitung, gefüllt mit physiologischer Kochsalzlösung wird an die Intraossärnadel angeschlossen. Es lässt sich aber auch jedes andere Luer Lock Infusionssystem an die EZ-IO Intraossärnadel anschliessen.</p>	
<p>7</p>	<p>Aspiration von Knochenmark und Spülen</p> <p>Zur Überprüfung der korrekten Lage kann optional Knochenmarksblut aspiriert werden. Anschliessend muss aber sofort mit physiologischer Kochsalzlösung gespült werden um eine Okklusion der Nadel zu verhindern. Es wird generell empfohlen, initial vor jeglicher Medikamenten oder Flüssigkeitsapplikation einen Flush-Bolus von 10ml Flüssigkeit rasch zu injizieren, um den Weg der Flüssigkeit innerhalb des Knochenmarks zu „reinigen“. Dies erlaubt später eine verbesserte spontane Infusionsrate. Beim wachen Patienten können 20-40 mg Lidocain 1% langsam appliziert werden, bevor der 10 ml Flush-Bolus gegeben wird.</p>	
<p>8</p>	<p>Sicherung und Überwachung der Infusionsleitung</p> <p>Eine Fixierung der Intraossärnadel ist nicht nötig. Jedoch soll die Infusionsleitung an der Extremität mit Klebestreifen befestigt werden, um gegen akzidentiellen Zug am Infusionssystem zu schützen. Für den Transport des Patienten kann das entsprechende Bein gegebenenfalls in einer Schiene fixiert werden.</p> <p>Die Intraossärinfusion wird hinsichtlich Schwellung oder Dislokation kontinuierlich überwacht.</p>	
<p>9</p>	<p>Kennzeichnung des Patienten mit intraossärer Infusion</p> <p>Beim EZ-IO Intraossärinfusionssystem wird zu jeder Intraossärnadel ein Streifen zur Kennzeichnung des Patienten am Handgelenk mitgeliefert. Diese macht zusätzlich auf die Entfernung der Intraossärinfusion am Bein innerhalb 24 h aufmerksam.</p>	

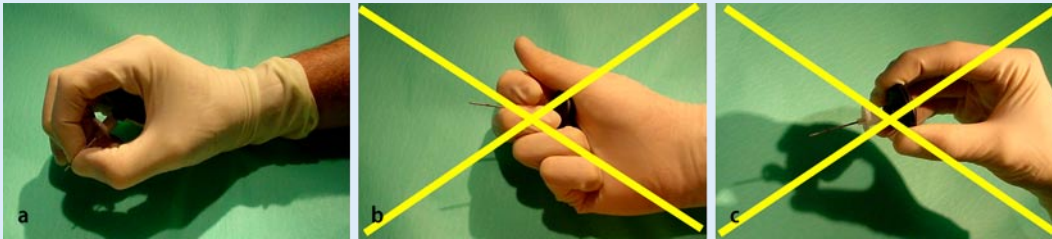


Abb. 11 ▲ Korrekte und falsche Handhabung der Cook-Intraossärnadel. Daumen und Zeigefinger fassen und führen die Intraossärnadel an der Tiefenmarkierung, während der Thenar Druck auf den Nadelkopf ausübt (a). Falsche Handhabung der intraossären Nadel (b, c) führt zum Wippen, Abbiegen, Abknicken und Abgleiten der Nadel. Zusätzlich besteht bei falscher Handhabung (b, c) kein Schutz vor zu tiefer Lage, im Extremfall kann es zur dorsalen Penetration der Tibia kommen, wenn die Nadel nicht mit mindestens einem Finger an der Tiefenmarkierung auf Hautniveau gestoppt wird

Für eine erfolgreiche intraossäre Punktion ist neben der richtigen Lagerung und Fixierung des Unterschenkels [11] und der Wahl der korrekten Punktionsstelle v. a. die richtige Handhabung der Intraossärnadel entscheidend. Der Nadelchaft der Intraossärnadel wird korrekt mit Daumen und Zeigefinger oberhalb der Tiefenmarkierung gefasst und geführt, und mit dem Thenar wird Druck auf den Handgriff (nicht Fingergriff!) appliziert (■ Abb. 11). Diese Handhabung der Intraossärnadel erlaubt stabile „Links-Rechts-Drehbewegungen“ mit reduziertem Risiko, vom Knochen abzugleiten, mit der Nadel zu wippen und die Nadel zu verbiegen oder zu knicken.

Der benötigte Druck, um die Nadel einzuführen, ist bei Kleinkindern normalerweise geringer als bei älteren Kindern. Die Einführung einer intraossären Nadel bei älteren Kindern und Erwachsenen kann jedoch mit erheblichem Druckaufwand verbunden sein [9]. Die Distanz zwischen Haut und Knochenmark beträgt selten mehr als einen Zentimeter [52]. Das Führen der Intraossärnadel oberhalb der 1-cm-Tiefenmarkierung verhindert ein zu tiefes Eindringen des Nadelchafts bzw. ein ungebremstes Eindringen mit Penetration der gegenüberliegenden Hinterwand der Tibia.

Zeichen einer erfolgreichen intraossären Punktion

- Widerstandsverlust
- Fester Halt der Intraossärnadel ohne Trokar
- Aspiration von Knochenmark (beweisend, aber nicht zwingend)
- Möglichkeit der Injektion von Flüssigkeit ohne größeren Widerstand und ohne Schwellung
- Möglichkeit der schwerkraftabhängigen Infusion

Die Intraossärnadel soll im 90°-Winkel zu Haut- bzw. Knochenoberfläche durch den Knochenkortex gebohrt werden. Andere Autoren wie auch die Herstellerfirma (Cook Critical Care) empfehlen die Nadel schräg und weg von der Diaphyse in den Knochenkortex zu drehen. Bei richtiger Wahl der Punktionsstelle entsprechend den üblichen Kriterien ist dies nicht nötig. Im Gegenteil ist ein schräges Bohren eher nachteilig, da sich das Risiko des Abgleitens, Verbiegens oder gar Abknickens der Nadel massiv erhöht. Zudem ist der Weg durch den Knochenkortex länger und die Tiefenmarkierung ist dann unzuverlässig.

Bei der Verwendung der Cook-Intraossärnadel ist das Manipulieren der Nadel mit sterilen Handschuhen obligat, da der Nadelchaft mit 2 Fingern umfasst wird. Bei anderen Knochenmarknadeln, wie beispielsweise der Baxter-Jamshidi-Intraossärnadel kann die Länge des eindringenden Nadelchafts eingestellt werden und mit den Fingern der Plastikschiene darüber gefasst werden. Ebenso erlauben der BIG oder das EZ-IO™-Infusionssystem, ohne zusätzliches Anziehen von sterilen Handschuhen die Nadel hygienisch korrekt durch den Knochen zu treiben (■ Abb. 6).

Die Zeichen einer erfolgreichen intraossären Punktion sind [20, 53, 54]:

Plötzlich spürbarer Widerstandsverlust. Der „loss of resistance“ ist ein Hinweis für die Penetration des Knochenkortex [9, 24]. Beim Neugeborenen ist der Widerstandsverlust eher eine Widerstandsverminderung nach Durchdringen des weichen Knochenkortex. Beim Kleinkind ist der Widerstandsverlust dann deutlich zu spüren und meist auch mit einem deutlich hörbaren Klick verbunden.

Fester Halt der Nadel im Knochenkortex. Ein fester Halt der Intraossärnadel muss auch nach Entfernung des Trokars bestehen bleiben.

Aspiration von rotem Knochenmark. Die Aspiration von rotem Knochenmark zeigt eine korrekte Lage der Intraossärnadel an. Die Aspiration von Knochenmark kann, muss aber trotz korrekter Nadellage nicht positiv sein. Das Knochenmarksaspirat kann zu diagnostischen Zwecken verwendet werden. Der Sog, der dabei notwendig ist, kann erheblich sein, und es braucht auch Geduld [20]. *Wichtig:* Falls kein rotes Knochenmark aspiriert werden kann, sollte die Nadel nicht sofort entfernt werden, zuerst sollte dann die Möglichkeit der Injektion von Flüssigkeit getestet werden.

Die Aspiration zur Überprüfung der korrekten Lage wird nicht immer empfohlen. Viele Autoren raten davon ab, da eine erhöhte Gefahr besteht, dass die Intraossärnadel dabei verstopft [24, 55]. Wird aus einer Intraossärnadel aspiriert, so muss anschließend unmittelbar mit physiologischer Kochsalzlösung oder Ringer-Laktat gespült werden, um eine Obstruktion der Nadel zu verhindern!

Möglichkeit der Flüssigkeitsinjektion. Die Möglichkeit der Injektion von Kochsalzlösung oder Ringer-Laktat ist das sicherste Merkmal zur Überprüfung der korrekten Nadellage [56]. Initial besteht immer ein etwas erhöhter Widerstand, der dann aber abnimmt. Dabei ist die stetige Überprüfung der Weichteile auf Extravasation mit Schwellung wichtig. Ein leichter Flüssigkeitsaustritt durch den Bohrkanal um die Nadel kann vorkommen.

Schwerkraftabhängige spontane Infusion. Die Infusion sollte, wenn auch langsam, schwerkraftabhängig ohne zusätzlichen Druck frei tropfen. Es wird generell empfohlen, vor jeglicher Medikamenten- oder Flüssigkeitsapplikation einen Flush-Bolus von 10 ml Flüssigkeit rasch zu injizieren, um den Weg der Flüssigkeit innerhalb des Knochenmarks zu „reinigen“. Dies erlaubt später eine verbesserte spontane Infusionsrate, andernfalls ist mit einer verminderten Flussrate oder gar keinem spontanen Fluss zu rechnen.

Nach einem erfolglosen Punktionsversuch oder nach Entfernung einer inkorrekt liegenden oder dislozierten Intraossärnadel darf der selbe Röhrenknochenabschnitt wegen der Gefahr der Extravasation, nicht mehr für weitere Punktionsversuche benutzt werden (absolute Kontraindikation) [22, 57]. Bei der Punktion an der Tibia ist es aber in dieser Situation durchaus gestattet, von der proximalen zur distalen Tibia an der gleichen Extremität zu wechseln und vice versa.

Entfernung der Intraossärnadel

Die intraossäre Infusion sollte nur solange in situ belassen werden, bis ein periphervenöser oder zentralvenöser Zugang angelegt werden konnte. Generell sollte die Intraossärnadel nach spätestens 12 (–24) h entfernt werden. Für das EZ-IO™-Intraossärinfusionssystem sind Handgelenksstreifen zur Kennzeichnung des Patienten mit intraossärer Infusion mit der Aufforderung vorhanden, dass diese innerhalb von 24 h wieder entfernt werden muss. Die Entfernung erfolgt, je nach Nadeltyp, unter leichten Drehbewegungen oder Heraus-schrauben der Intraossärnadel. Für einige Minuten wird mit einer sterilen Kompresse ein leichter Druck auf die Punktionsstelle ausgeübt, um die Ausbildung eines Hämatoms zu vermeiden. Die Injektionsstelle wird dann für 48 h steril abgedeckt.

► Eine intraossäre Infusion sollte spätestens nach 12–24 h wieder entfernt werden

Im Knochenkortex kann radiologisch ein kleiner Defekt gefunden werden, welcher sich als kleines Bohrloch, periostale Re-

aktion, Aufhellung oder Verdichtung der Kortikalis präsentiert. Diese Defekte können bis zu 6 Monaten nach der Infusion nachweisbar sein, stellen aber keine wirkliche Komplikation dar und müssen nicht therapiert werden [14, 22].

Diagnostik aus dem Knochenmarkblut

Der intraossäre Gefäßzugang ist nicht nur ein wichtiger alternativer Gefäßzugang bei Notfallpatienten zur Verabreichung von Medikamenten und Flüssigkeiten, sondern er erlaubt aspiriertes Knochenmarksblut auch als zuverlässige Quelle für eine initiale Labordiagnostik zu nutzen, wenn keine venöse Blutentnahme möglich ist. Knochenmarkblut aus der intraossär liegenden Nadel zur Bestimmung von Laborparametern vor der Gabe von Flüssigkeiten und Medikamenten kann bedingt wie eine venöse Blutprobe gewertet werden ([58, 59, 60, 61, 62, 63]; ■ Tab. 3). Nicht geeignete Parameter sind die Blutenzyme (ALAT, ASAT, LDH, AP) die Thrombozyten-, Leukozyten-, Erythrozytenzahl sowie pO_2 - und SO_2 -Werte. Vorsicht geboten ist beim Kalium, das im Knochenmarkaspirat, am ehesten durch eine sogbedingte Hämolyse, höher als im peripheren Blut sein kann.

Weiter kann das Knochenmarkaspirat auch zum Anlegen von Blutkulturen verwendet werden. Das Knochenmark weist praktisch immer positive Kulturen auf, wenn die peripheren Blutkulturen positiv sind [58].

Verlängerte Versuche, Knochenmark zu aspirieren, sollten unterlassen werden, um Verzögerungen bei der Verabreichung von lebensrettenden Medikamenten und Flüssigkeiten zu vermeiden und ein Verstopfen der Nadel zu verhindern [59].

Nach Verabreichung von Medikamenten und Infusionslösungen sind die Werte nicht mehr zuverlässig zu verwenden (Verdünnungseffekt), daher sollte Knochenmarkaspirat für Laboruntersuchungen vor der Verabreichung des ersten Medikaments, beziehungsweise der ersten Infusionslösung entnommen und weiterverarbeitet werden.

Des Weiteren können statistische und klinische Unterschiede zwischen venösen und intraossären Werten festgestellt wer-

Tab. 3 Aus dem aspirierten Knochenmarkblut bestimmte Parameter, welche mit den venösen Blutparametern weitgehend übereinstimmen [58, 59, 60, 61, 62, 63]

Natrium
Kalium (mit Vorsicht – eher zu hoch wegen Hämolyse durch Sog)
Chlorid
Frei ionisiertes Kalzium
Magnesium
Anorganisches Phosphat
Laktat
Harnstoff
Harnsäure
Kreatinin
Bilirubin
Glukose
Hämoglobin
Albumin
Gesamtprotein

den, je länger die Dauer der Reanimation ist [63]. Aspiriertes Knochenmark kann aber auch noch nach intraossärer Infusion von Medikamenten und Flüssigkeiten zur genauen und zuverlässigen Bestimmung der Blutgruppe angewendet werden [64].

Blutgasanalyse und Knochenmarkaspirat

Die intraossären Werte liegen zwischen denen von arteriell und venös entnommenen Proben. Die intraossären Werte können also für die Beurteilung von pH-Wert, pCO_2 und HCO_3^- herangezogen werden [58]. Dies gilt übrigens auch für hypotherme Patienten, Patienten mit Hypoventilation, Hypovolämie oder unter Reanimation [65, 66, 67, 68]. Die Blutoxygenierungsparameter pO_2 und SO_2 sind generell signifikant unterschiedlich zwischen intraossären und peripher arteriellen Werten [59]. Während verlängerten pathophysiologischen Situationen mit prolongierter kardiopulmonaler Reanimation oder andauernder Hypovolämie verändert sich dann aber zunehmend der intraossäre pH- und pCO_2 -Wert im Vergleich zu den zentralvenösen Werten [69, 70, 71].

Intraossäre Infusion und peripheres Blutbild

Nach intraossärer Infusion von Kochsalz sind im Tierversuch statistisch signifikante Unterschiede in der Zahl der Monozyten, basophilen Granulozyten und Retikulozyten im peripheren Blutbild festgestellt worden [72, 73]. Daher sollte die Beurteilung des peripheren Blutbilds kurz nach intraossärer Infusion nur mit Vorsicht erfolgen und die Resultate zu einem späteren Zeitpunkt kontrolliert werden.

Medikamentengabe

Grundsätzlich können alle für die pädiatrische Reanimation und Notfalltherapie benötigten intravenösen Medikamente und Flüssigkeiten nahezu uneingeschränkt intraossär verabreicht werden. Die intraossäre Medikamentendosierung und Flüssigkeitsmenge bleiben gleich wie bei der intravenösen Applikation. Lediglich bei hypertonen Infusionslösungen ist Vorsicht angebracht, da eine erhöhte Infektgefahr besteht. Daher sollten hypertone Lösungen wie Natriumbikarbonat falls möglich verdünnt werden.

Nach Gabe von Medikamenten soll mit 10 ml physiologischer Kochsalzlösung oder Ringer-Laktat nachgespült werden, um den Transport der Medikamente aus dem Knochenmarkraum in die zentrale Zirkulation zu beschleunigen. Besonders wichtig ist dies im Falle eines Herzstillstands [22, 34, 57, 74].

Flussraten

Die Einlaufgeschwindigkeit intraossär applizierter Lösungen ist geringer als bei der intravenösen Infusion [22]. Die intraossäre Flussrate ist abhängig von verschiedenen Faktoren wie Infusions- und Injektionsdruck, Nadeldicke, Art der applizierten Flüssigkeit, Punktionsstelle bzw. Größe des Knochenmarkraums und Knochenmarkzirkulation. Die erzielten Flussraten von Kristalloiden durch konventionelle manuelle Knochenmarknadeln variieren mit Schwerkraft von 10–17 ml/min und mit Druck von 41–100 ml/min [75, 76].

Bei größeren Kindern und Erwachsenen sind die Flussraten einer intraossären Infusion nicht immer ausreichend für die

definitive Therapie von hypovolämen Zuständen. Deshalb kann für die Volumensubstitution bei hypovolämen, schockierten Patienten das Anlegen einer bilateralen intraossären Druckinfusion von Nutzen sein [22, 77].

Höhere Flussraten können mit modernen intraossären Infusionssystemen erreicht werden, wie dem Pyng F.A.S.T. iTM IO-Infusionssystem. Damit kann durch Schwerkraftinfusion eine Flussrate von 80 ml/min erreicht werden, mit Händedruck eine Flussrate von sogar 150 ml/min [33].

Pharmakokinetik

Die intraossäre Infusionstechnik ist bezüglich der Effektivität einem intravenösen Zugang gleich zu setzen [11, 12, 78, 79, 80, 81]. In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass während einer kardiopulmonalen Reanimation der intraossäre Zugang mit einem zentralvenösen Zugang in der Effektivität vergleichbar ist und einem peripher venösen Zugang sogar überlegen ist [81, 82].

Indikation

Grundsätzlich ist die Indikation für einen intraossären Gefäßzugang für alle vitalen Notfallsituationen bei Patienten <6 Jahren gegeben, bei welchen dringend ein Gefäßzugang benötigt wird, jedoch ein Venenzugang nicht oder nur verzögert hergestellt werden kann:

- Bei Kindern mit Herzstillstand [3, 24] oder ausgeprägtem hypovolämischem Schock [28, 54, 85] soll primär eine intraossäre Infusion angelegt werden, falls nicht schon ein venöser Zugang besteht.
- Bei kritisch kranken Kindern, welche notfallmäßig eine Medikamenten- und Volumengabe zur Wiederherstellung der Vitalfunktion benötigen, ist spätestens nach 3 erfolglosen intravenösen Punktionsversuchen bzw. nach 90–120 s die Indikation für eine intraossäre Infusion gegeben [24, 53, 83, 86].

Beispiele dazu sind: Kreislaufkollaps, Zentralisation bei hypovolämem Schock durch Trauma oder Dehydratation, Krampfanfall mit respiratorischer Insuffizienz, Sta-

tus epilepticus, Status asthmaticus, allergische Reaktionen, septischer Schock etc.

Je jünger das Kind, umso schneller wird sich die Indikation für eine intraossäre Injektion im Notfall stellen beziehungsweise ergeben [28]. In Situationen mit offensichtlich erschwerten oder gar unmöglichen Venen- oder Punktionsverhältnissen (Adipositas, Ödeme, Hypothermie, schwere Hypovolämie) oder mit Unmöglichkeit der Ruhigstellung der entsprechenden Punktionsstelle (Epilepsie, unkooperativer Patient, Transporterschütterungen) ist beim vital gefährdeten Patienten die Indikation für eine primär intraossäre Punktion/Infusion gegeben, bevor man aussichtslose Venenpunktionen unternimmt.

Neugeborene

Bei Neugeborenen sollte im Bedarfsfall eine intraossäre Infusion gelegt werden, falls ein Zugang durch die V. umbilicalis nicht sofort gelingt [87]. Die erfolgreiche Katheterisierung der V. umbilicalis bei Frühgeborenen oder Neugeborenen bedarf großer Erfahrung während der intraossären Zugang wesentlich einfacher [88] und beim Neugeborenen und Frühgeborenen sehr effektiv ist [89, 90]. In Langzeituntersuchungen wurden keine Nachteile beim Gebrauch der intraossären Nadeln bei Termin- und Frühgeborenen bezüglich Wachstum der verwendeten Extremität beobachtet [91].

Patienten mit Verbrennungen

Die Gabe von ausreichend Infusionslösungen und Analgetika ist bei ausgedehnten Verbrennungen ein wichtiger Bestandteil der Erstversorgung. Bei Kindern mit ausgedehnten Verbrennungen kann es schwierig oder gar unmöglich sein, den sofort benötigten Venenzugang zu legen, sodass auch in dieser Situation ein intraossärer Zugang gelegt werden soll [77].

Idealerweise sollte für die intraossäre Punktion eine nicht verbrannte Hautpartie gewählt werden. Falls nicht anders möglich, kann die intraossäre Infusion aber auch durch verbranntes Hautgewebe erfolgen. Die Vorteile einer schnellen Flüssigkeitsgabe überwiegen das relativ kleine Risiko einer Infektion.

Kinder >6 Jahre bzw. Erwachsene

Obwohl es selten ist, dass bei Kindern über 6 Lebensjahren kein venöser Gefäßzugang etabliert werden kann, darf auch hier im Bedarfsfall ein intraossärer Zugang angelegt werden [3]. Dasselbe gilt für erwachsene Patienten, wobei Apparate wie das F.A.S.T.-Infusionssystem, der BIG oder das EZ-IO™-Intraossärinfusionssystem das Anlegen eines intraossären Zugangs wesentlich erleichtern können [92]. Bei der Verwendung einer manuellen Intraossärnadel empfiehlt es sich bei Kindern >6 Lebensjahren und Erwachsenen die distale Tibia als Punktionsort zu wählen.

Kontraindikationen

Absolute Kontraindikationen

Wegen der lebensrettenden Bedeutung der intraossären Infusion gibt es grundsätzlich keine generell absoluten Kontraindikationen sondern nur lokoregionale absolute Kontraindikationen, welche den Erfolg der Intraossärinfusion in Frage stellen:

Frakturierte Knochen. Bei Frakturen eines Knochens kommt es zu beträchtlicher Extravasation von intraossär applizierten Medikamenten und Flüssigkeiten ins Gewebe [20, 22, 23, 57]. Eine Tibiaplateaufraktur schließt, bedingt durch den zentralen, diaphysären Abfluss jedoch eine Intraossärinfusion an der selben distalen Tibia nicht aus, einmal abgesehen von den Frakturschmerzen bei der Manipulation am wachen Patienten.

Vorausgehende intraossäre Punktionsversuche. Wurde ein Knochenabschnitt bereits (<48 h) einmal punktiert und die Nadel wegen Fehlpunktion oder sekundärer Dislokation wieder entfernt, so ist der Knochenkortex nicht mehr intakt. Eine weitere Punktion bzw. Infusion würde zur erheblichen Extravasation führen und die Therapie wäre ineffektiv [93]. Eine Fehlpunktion oder dislozierte Knochenmarknadel an der proximalen Tibia schließt aber, wiederum bedingt durch den zentralen, diaphysären Abfluss des Markblutes eine Intraossärinfusion an der selben distalen Tibia nicht aus.

Gefäßverletzung proximal der intraossären Punktionsstelle. Bei Störungen der regionalen Durchblutung (durch Trauma oder durch vorgängige chirurgische Gefäßexploration) sollte auf die andere Seite oder gegebenenfalls auf die oberen Extremitäten ausgewichen werden [20].

Osteosynthesematerial/voroperierter Knochen. Bei Patienten mit vorausgegangenen Operationen oder Osteosynthesematerial im Bereich der Punktionsstelle, sollte keine Intraossärnadel an dieser Stelle angelegt werden.

Relative Kontraindikationen

In der Literatur ist eine Reihe von relativen Kontraindikationen zu finden (■ Tab. 4). Diese müssen jedoch im Verhältnis zur Dringlichkeit des Venenzugangs in einer Notfallsituation gesehen werden. Dazu gehören Erkrankungen, die mit einem erhöhten Frakturrisiko einhergehen, wie Osteogenesis imperfecta oder die Osteopetrosis. Ebenso ist ein gesteigertes Osteomyelitisrisiko bei Patienten mit Septikämie, Verbrennungen oder Zellulitis zu berücksichtigen. Speziell bei Patienten mit intrakardialen rechts-links Shuntvitien, hochgradiger pulmonarterieller Hypertonie oder schwerer pulmonaler Insuffizienz ist das Risiko der Embolisierung von intramedullärem Material, insbesondere bei Druckinfusion zu bedenken. Auch können Erkrankungen wie die akute lymphatische Leukämie, Erythroblastosis, Osteopetrosis zu einem ineffektiven Knochenmark und damit unmöglicher Infusion führen.

Relative Kontraindikationen sind dann relevant, wenn bei schwierigen Venenverhältnissen oder nach mehrfach missglückten Punktionen eine relative Dringlichkeit für einen Venenzugang besteht, wie zum Beispiel bei der intravenösen Narkoseeinführung eines ASA-IV-Patienten ohne Venenzugang oder bei der Rapid Sequence Induction beim dehydriertem Kind mit Ileus [95]. Letztere Anwendungen werden zurzeit noch stark in Frage gestellt und dürfen noch nicht als generell für die intraossäre Infusion akzeptierte Indikationen angesehen werden [96, 97, 98, 99, 100].

Tab. 4 Relative Kontraindikationen für eine intraossäre Punktion und Infusion

Osteogenesis imperfecta [20, 23]
Osteopetrosis [20]
Erythroblastosis fetalis [11]
Akute lymphatische Leukämie [9]
Intraossäre Nadelplatzierung über verbrannten Arealen [23, 77]
Intraossäre Nadelplatzierung über Arealen mit Zellulitis [23]
Intrakardialer rechts-links Shunt [20, 94]
Schwere pulmonale Insuffizienz [95]
Bakteriämie, Septikämie [22]

Komplikationen

Die Komplikationsrate der intraossären Infusion ist bei korrekter Handhabung gering. Die meisten Berichte über Komplikationen als Folge einer intraossären Infusion sind sehr alt und stammen aus der Zeit, als die Intraossärinfusion noch für routinemäßige Verabreichung von Bluttransfusionen und die Langzeitverabreichung von Medikamenten angewendet wurde. Der heutige selektive Kurzeiteinsatz in der Notfallmedizin lässt sich daher nur bedingt damit vergleichen.

— **Das Risiko der intraossären Infusion steht in keinem Verhältnis zu den Vorteilen beim vital bedrohten Patienten.**

Alle im Zusammenhang mit intraossären Infusionen beschriebenen Todesfälle sind durch Sternalpunktionen und/oder Sternalinfusionen mit Mediastinitis, Hydrothorax oder Verletzung von Herz oder großen Gefäßen beschrieben worden [10, 101, 102]. Die Punktion des Sternums für die intraossäre Infusion ist heute jedoch obsolet in der pädiatrischen Notfallmedizin.

Fehlpunktion und Extravasation

Die meisten Komplikationen resultieren heute aus inkorrektter Handhabung der Technik und des Materials (■ Tab. 5). So ist das Verbiegen der Intraossärnadel der häufigste Grund und die schlecht gewählte Punktionsstelle ein weiterer häufiger Grund für eine erfolglose Punktion [103]. Eine Extravasation von Flüssigkeit aus dem Punktionskanal bei liegender Nadel kommt oft vor und ist in kleinerem Aus-

Tab. 5 Komplikationen der intraossären Punktion/Infusion

Komplikationen während der Platzierung der intraossären Nadel:
– Inkorrekte Lage der Einstichstelle
– Abrutschen, Verbiegen und Abbrechen der intraossären Nadel
Schädigung von Knochen (Frakturen), Knochenmark und Epiphysenfuge
Verstopfung der intraossären Nadel, fehlender Infusionsfluss
Extravasation und Kompartmentsyndrom
Infektionen (Osteomyelitis, subkutaner Abszess, Zellulitis, Periostitis)
Knochenmarkembolien und Fettembolien
Schmerzen durch intraossäre Punktion und Infusion

maß um die Einstichstelle normal, unabhängig von Nadeltyp und Druckinfusion [39]. Begünstigend auf die Extravasation sind starke Wippbewegungen beim Eindrehen der Intraossärnadel und Lockerung der Nadel durch häufige Manipulation oder längere Liegedauer [10]. Geschraubte Intraossärnadeln oder mit Apparaturen angelegte intraossäre Gefäßzugänge (■ **Abb. 5, 6**) versprechen diesbezüglich Vorteile. Das seit kurzer Zeit erhältliche EZ-IO™-Intraossärinfusionssystem verspricht eine Vereinfachung der Technik, da eine Bohrmaschine den Anwender von Drehbewegungen der Nadel entlastet und er sich ganz auf den Druck und die Bohrrichtung konzentrieren kann. Der Plastikkörper an der Nadel verhindert ein zu tiefes Eindringen der Nadel und bietet gute Stabilität auf der Hautoberfläche.

Unabhängig vom Punktionsmaterial muss immer auf das Auftreten von größeren Schwellungen geachtet werden, um eine Fehllage der Nadel (subkutan, subperiostal, intraartikulär, Durchstechung der hinteren Knochenwand [10]) auszuschließen und Kompartmentsyndrome sowie Gewebenekrosen mit anschließender Schwellung und Infektionen (*Cave*: Adrenalin, Natriumbikarbonat, Kalzium, hypertone Kochsalzlösungen) zu verhindern [104, 105, 106]. Um eine größere Extravasation zu erkennen, sollte die Punktionsstelle nur minimal mit einer Kompresse bedeckt sein [106]. Eine engmaschige Überwachung ist nötig, um ein beginnendes Kompartmentsyndrom zu erfassen und gravierende Folgen zu vermeiden.

Frakturen

Frakturen wurden im Zusammenhang mit sehr kleinen Säuglingen und Neugeborenen und der Anwendung von zu großen Intraossärnadeln und falscher Punktionsstelle berichtet, sind aber sehr selten [107, 108].

Veränderungen des Knochenmarks

Die intraossäre Verabreichung von Flüssigkeiten und Medikamenten führt zu vorübergehenden und klinisch nicht relevanten Veränderungen des Knochenmarks (Ödem, entzündliche Infiltration, Zellverarmung, fibrotische und thrombotische Veränderungen bis zu Knochenmarknekrosen; [109, 110]). Die Druckinfusion von isotonen Lösungen hat ebenfalls keine Langzeitauswirkungen [82]. Hypertone Infusionslösungen (Natriumbikarbonat) sollten verdünnt werden [111]. Beinlängenunterschiede nach intraossärer Infusion wurden auch nach Infusion von Natriumbikarbonat nicht gefunden [14, 112, 113].

Osteomyelitis

Die Osteomyelitis ist die wichtigste Komplikation. Die Inzidenz ist aber sehr niedrig. In einer von Rosetti et al. an Kindern mit 4270 intraossären Infusionen durchgeführten Untersuchung traten gerade 27 Fälle von Osteomyelitiden auf (0,6%; [114]). Zu bedenken ist dabei, dass diese intraossären Infusionen über Tage belassen wurden, während heute empfohlen wird, die intraossäre Infusion sobald wie möglich, spätestens nach 12–24 h wieder zu entfernen. In der neuesten Literatur sind kaum mehr Fälle von Osteomyelitis nach intraossärer Infusion zu finden [95].

Risikofaktoren für eine Osteomyelitis sind unsterile und inkorrekte Punktions-technik, lang dauernde Infusionen, Infusion von Blutprodukten und hypertonen Lösungen sowie Bakteriämie und Sepsis. Wird die intraossäre Nadel unter notfallmäßigen Bedingungen gelegt, welche eine korrekte sterile Vorgehensweise nicht erlaubten, ist eine Abschirmung mit Antibiotika zu erwägen [20].

Embolisation von Knochenmark und Fett

Während der intraossären Injektion und Infusion von Medikamenten und Flüssigkeiten besteht die Möglichkeit, dass Fett- und Knochenmarkpartikel ins Blut eingeschwemmt werden, welche die Entstehung von Lungenembolien begünstigen können, vor allem wenn intraossäre Infusionen unter Druck verabreicht werden [72, 73]. In einigen Studien konnten regelmäßig histologisch Embolien nachgewiesen werden, in anderen hingegen nicht. Fälle mit klinisch manifesten Lungenembolien insbesondere bei Kindern nach intraossärer Infusion sind bis heute keine beschrieben. Die klinische Relevanz liegt aber darin, dass bei Patienten mit kardialen Rechts-Links-Shunt und schwerer pulmonaler Insuffizienz und/oder pulmonal-arterieller Hypertonie bei der semi-elektiven Indikation einer intraossären Infusion darauf geachtet werden muss [95].

Periostaler oder endostaler Schmerz

Als nicht unwesentliche Komplikation sind der periostale Schmerz bei der Punktion und der endostale Injektionsschmerz bei der Injektion zu erwähnen. Die intraossäre Infusion sollte beim wachen Patienten nicht ohne Lokalanästhesie des Periosts mit 1% Lidocain durchgeführt werden. Der periostale Schmerz ist bei Bone Injection Gun (BIG) gering und Bedarf keiner vorausgehenden Lokalanästhesie [31]. Ebenso soll das EZ-IO™-Intraossärinfusionssystem beim Erwachsenen ohne Lokalanästhesie einführbar sein.

Die initiale Injektion der Medikamente verursacht beim wachen Patienten während der ersten Minuten Schmerzen via endostale Schmerzrezeptoren [115]. Langsame Infusionen verursachen praktisch keine Schmerzen [57]. Die endostalen Schmerzen können entweder durch Sog bei der Knochenmarkaspiration, bei der Verabreichung von hypertonen Lösungen oder bei erhöhtem intramedullärem Druck vor allem bei Druckinfusionen entstehen [14, 18, 31]. Bei Bedarf können 2–4 ml Knochenmarkaspirat entnommen und 2–4 ml Lidocain 1% langsam in das Knochenmark injiziert werden [57].

Ausbildung und Material

Die erfolgreiche, komplikationsarme Anwendung der intraossären Infusionstechnik bedingt einerseits Kenntnisse und Übung im Umgang mit der intraossären Infusionstechnik und andererseits das Vorhandensein der benötigten Ausrüstung dort, wo Kinder behandelt werden.

Jeder ärztliche Mitarbeiter eines medizinischen Systems, welcher potenziell mit Kindern konfrontiert werden kann, muss in diese Technik eingeführt und darin regelmäßig geschult werden. Training in intraossärer Infusionstechnik kann heute an Workshops und notfallmedizinischen Kursen, das nötige Wissen in den entsprechenden Fachzeitschriften und Fachliteratur erworben werden. Für das Erlernen und das Training stehen heute Übungsknochen und Phantome zur Verfügung (■ Tab. 6).

Kenntnisse und Übung in intraossärer Infusionstechnik nützen wenig, wenn die benötigte Ausrüstung nicht vorhanden ist oder nur schwierig greifbar zur Verfügung steht. Intraossärnadeln oder intraossäre Infusionssets müssen in allen medizinischen Einrichtungen (Praxen, Ambulanzen, Notaufnahmen, Reanimationsausrüstungen, Operationssäle und Intensivstationen) in denen Kinder untersucht, überwacht oder behandelt werden, deutlich gekennzeichnet und ersichtlich gelagert werden. Eine oder 2 Nadelgrößen genügen, und man soll sich dabei auf einen Typ Nadel beschränken, um die Kosten und Logistik in vernünftigen Grenzen zu halten.

Fazit für die Praxis

Die intraossäre Infusion hat sich in den letzten 20 Jahren zu einem vaskulären Standardzugang in der pädiatrischen und zunehmend auch in der adulten Notfallmedizin entwickelt, wenn nicht innerhalb nützlicher Frist ein venöser Zugang bei lebensbedrohten Patienten gelegt werden kann. Die intraossäre Infusion kann einfach, sicher und schnell mit hoher Erfolgsrate angelegt werden und erlaubt, alle in der Notfallmedizin gebräuchlichen Medikamente fast ohne Einschränkungen zu applizieren. In der lebensbedrohlichen Notfallsituation gibt

Tab. 6 Übungsknochen und Übungsphantome für die intraossäre Infusionstechnik

Megacode Kid	6 Jahre altes Kind	http://www.global-technologies.net
Life/form® Intraosseous Infusion Simulator	6 Monate alter Säugling	http://www.simulaids.com
Übungsknochen Tibia rechts	4 Jahre altes Kind	http://www.synbone.ch
Leardal Megacode Baby	6 Monate alter Säugling	http://www.leardal.de
Pediatric ALS Trainer	6 Monate alter Säugling	http://www.armstrongmedical.com
Nasco's single intraosseous infusion-leg	6 Monate alter Säugling	http://www.med-mondial.com
Vidacare EZ-IO™-Übungs-knochenset	Diverse Modelle (Neugeborene bis Erwachsene)	http://www.vidacare.com
SawBones Worldwide	Diverse Knochenmodelle	http://www.sawbones.com
Adult Sternal Intraosseous Infusion Simulator	Oberer Thorax eines Erwachsenen	http://www.drmas.com

es, abgesehen von lokalen Gründen, keine absoluten Kontraindikation für eine intraossäre Infusion. Das Komplikationsrisiko ist klein und rechtfertigt nicht, auf die Vorteile der Intraossärinfusion bei gegebener Indikation zu verzichten. Misslingen der intraossären Infusion ist meist bedingt durch inkorrekte Handhabung von manuellen Intraossärnadeln. Geräte wie die Bohrmaschinen unterstützte Insertion von Knochenmarknadeln mit Distanzbolzen mögen in Zukunft auch bei Kindern die Erfolgsrate erhöhen. Kenntnisse und Übung in der intraossären Infusionstechnik gehören zum Bestandteil der Ausbildung und des kontinuierlichen Trainings jedes Notfallmediziners, Notarztes, Pädiaters, Anästhesisten und Intensivmediziners.

Korrespondierender Autor

PD Dr. M. Weiss

Anästhesieabteilung
Universitäts-Kinderkliniken Zürich
Steinwiesstrasse 75, 8032 Zürich, Schweiz
markus.weiss@kispi.unizh.ch

Copyrights Das Videomaterial ist in anderer Aufmachung bereits Bestandteil einer Lehr-CD der Universität Bern, Schweiz und online via Inselspital, Bern und via KATZ'07 (<http://www.kindernarkose.ch>) der Öffentlichkeit zugänglich. Die Copyrights des Videomaterials gehören der Anästhesieabteilung, Universitäts-Kinderkliniken Zürich.

Interessenkonflikt. Die Autoren versichern, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt im Artikel aufgeführt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, besteht.

plus Video

Abbildungen mit diesem Symbol enthalten zusätzliches Videomaterial. Bitte klicken Sie zum Abspielen des Videos auf die jeweilige Abbildung in der PDF-Datei des Beitrags. Diese finden Sie auf www.NotfallundRettungsmedizin.de unter „Inhalte/Archiv“.

Literatur

1. Rossetti V, Thompson BM, Aprahamian C (1984) Difficulty and delay in intravascular access in pediatric arrest. *Ann Emerg Med* 13: 406
2. American Heart Association (2005) Part 12. Pediatric Advanced Life Support. *Circulation* 112: 167–187; American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care (2005) Part 12. Pediatric Advanced Life Support. *Circulation* 112: IV167–187
3. The International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) (2005) Consensus Science with treatment recommendations for pediatric and neonatal patients: Pediatric Basic and Advanced Life Support. *Pediatrics* 117: e955–977
4. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation (2005) Section 6. Paediatric life support. *Resuscitation* 67S1: 97–133; Section 4. Adult advanced life support. *Resuscitation* 67S1: 39–86
5. Drinker CK, Drinker KR (1916) A method for maintaining an artificial circulation through the tibia of the dog, with a demonstration of the vasomotor control of the marrow vessels. *Am J Physiol* XL: 514–521
6. Drinker CK, Drinker KR (1922) The circulation in the mammalian bone marrow. *Am J Physiol* 62: 1–92
7. Doan CA (1922) The circulation of the bone marrow. *Contrib Embryol* 67: 27–47
8. Tocantins LM, O'Neill JF, Price AH (1941) Infusions of blood and other fluids via the bone marrow in traumatic shock and other forms of peripheral circulatory failure. *Ann Surg* 114: 1085–1092
9. Tocantins LM, Price AH, O'Neill JF (1943) Infusions via the bone marrow in children. *Pennsylvania Med J* 46: 1267–1273
10. Tocantins LM, O'Neill JF (1945) Complications of intra-osseous therapy. *Ann Surg* 122: 266–277
11. Tocantins LM, O'Neill JF, Jones HW (1941) Infusions of blood and other fluids via the bone marrow application in pediatrics. *JAMA* 117: 1229–1234

12. Tocantins LM, O'Neill JF (1940) Infusion of blood and other fluids into circulation via the bone marrow. *Proc Soc Exp Biol Med* 45: 782–783
13. Tocantins LM, O'Neill JF (1941) Infusions of blood and other fluids into general circulation via bone marrow. Technique and results. *Surg Gynec and Obst* 73: 281–287
14. Heinild S, Sondergaard T, Tudvad F (1947) Bone marrow infusion in childhood. Experiences from a thousand infusions. *J Pediatr* 30: 400–412
15. Papper EM, Rovenstine EA (1942) Utility of marrow cavity of sternum for parenteral fluid therapy. *War Med* 2: 277–283
16. Turkel H (1983) Intraosseous infusion (Letter). *Am J Dis Child* 137: 706
17. Orlowski JP (1984) My kingdom for an intravenous line (Editorial). *Am J Dis Child* 138: 803
18. Tarrow AB, Turkel H, Thompson S (1952) Infusions via the bone marrow and biopsy of the bone and bone marrow. *Anesthesiology* 13: 501–509
19. Henning N (1945) Intrasternal infusion. *JAMA* 128: 240
20. Orlowski JP (1994) Emergency alternatives to intravenous access. Intraosseous, intratracheal, sublingual and other-site drug administration. *Ped Crit Care* 41: 1183–1199
21. Gimson JD (1944) Bone-marrow transfusion in infants and children. *BMJ* 1: 748–749
22. Spivey WH (1987) Intraosseous infusions. *J Pediatr* 111: 639–643
23. Hodge D (1985) Intraosseous infusions: a review. *Pediatr Emerg Care* 1: 215–218
24. Seigler RS, Tecklenburg FW, Shealy R (1989) Pre-hospital intraosseous infusion by emergency medical services personnel: a prospective study. *Pediatrics* 84: 173–177
25. Iseron KV, Criss E (1986) Intraosseous infusions: a usable technique. *Am J Emerg Med* 4: 540–542
26. Iseron KV (1989) Intraosseous infusions in adults. *J Emerg Med* 7: 587–591
27. Schoffstall JM, Spivey WH, Davidheiser S (1989) Intraosseous crystalloid and blood infusion in a swine model. *J Trauma* 29: 384–387
28. Manley L, Haley K, Dick M (1988) Intraosseous infusion: rapid vascular access for critically ill or injured infants and children. *J Emerg Nursing* 14: 63–69
29. Reisman HA, Tainsky IA (1944) Bone marrow as alternative route for transfusion in pediatrics. *Am J Dis Child* 68: 253–256
30. Elston JT, Jaynes RV, Kaump DH (1947) Intraosseous infusion in infants. *Am J Clin Pathol* 17: 143–150
31. Waisman M, Waisman D (1997) Bone marrow infusion in adults. *J Trauma* 42: 288–293
32. Warren DW, Kissoon N, Sommerauer JF, Rieder MJ (1993) Comparison of fluid infusion rates among peripheral intravenous and humerus, femur, malleolus and tibial intraosseous sites in normovolemic and hypovolemic piglets. *Ann Emerg Med* 22: 183–186
33. Macnab A, Christenson J, Findlay J et al. (2000) A new system for sternal intraosseous infusion in adults. *Prehosp Emerg Care* 1: 173–177
34. Seefelder C, Ahnefeld FW, Stannigel H (1992) Die Stellung der intraossären Injektion und Infusion bei pädiatrischen Notfällen. Eine Literaturübersicht. *Notarzt* 8: 175–183
35. Wagner M, McCabe J (1987) A comparison of four techniques to establish intraosseous infusion. *Ann Emerg Med* 16: 509
36. Daga SR, Gosavi DV, Verma B (1999) Intraosseous access using butterfly needle. *Trop Doct* 29: 142–144
37. Lake W, Emmerson AJ (2003) Use of butterfly as an intraosseous needle in an oedematous preterm infant. *Arch Dis Child Fetal Neonatal* 88: 409
38. Ellemunter H, Burkhart S (1999) Intraosseous lines in preterm and full term neonates. *Arch Dis Child Fetal Neonatal* 80: 74–75
39. LaSpada J, Kissoon N (1995) Extravasation rates and complications of intraosseous needles during gravity and pressure infusion. *Crit Care Med* 23: 2023–2028
40. Glaeser PW, Losek JD (1988) Intraosseous needles. New and improved. *Pediatr Emerg Care* 4: 135–136
41. Miller DD, Guimond G (2005) Feasibility of sternal intraosseous access by emergency medical technical students. *Prehosp Emerg Care* 9: 73–78
42. DeBoer S, Seaver M, Morissette C (2005) Intraosseous infusion: not just for kids anymore. *Emerg Med Serv* 34: 54–63
43. Koschel MJ (2005) Sternal intraosseous infusions: emergency vascular access in adults. *Am J Nurs* 105: 66–68
44. Miller L, Kramer GC (2005) Rescue access made easy. *JEMS* 30: 8–18
45. Macnab A, Christenson J, Findlay J et al. (2000) A new system for sternal intraosseous infusion in adults. *Prehosp Emerg Care* 1: 173–177
46. Calkins D, Fitzgerald G (2000) Intraosseous infusion devices: a comparison for potential use in special operations. *J Trauma* 48: 1068–1074
47. Vardi A, Berkenstadt H (2004) Intraosseous vascular access in the treatment of chemical warfare casualties assessed by advanced simulation: Proposed alteration of treatment protocol. *Anesth Analg* 98: 1753–1758
48. Seibert FJ, Schatz B (2001) Bone Injection Gun (B.I.G.) im Test. *Notarzt* 17: 152–154
49. Heightman AJ (2005) The rebirth of adult IO. *JEMS* 30: 4–7
50. Davidoff J, Fowler R, Gordon D et al. (2005) Clinical evaluation of a novel intraosseous device for adults: prospective, 250-patient, multi-center trial. *JEMS* 30: 20–23
51. Frascione RJ, Jensen J, Salzman J, Kaye K (2006) EZ-IO: a field trial. *NAEMSP Annual Meeting*, January 19–21, 2006, Tucson, AZ
52. Holder M (1991) Intraossäre Injektion und Infusion im Kindesalter. *Notfallmedizin* 17: 648–652
53. Helm M, Breschinski W, Lamp L (1996) Die intraossäre Punktion in der präklinischen Notfallmedizin. *Praktische Erfahrungen aus dem Luftrettungsdienst*. *Anästhesist* 45: 1196–1202
54. Berg RA (1984) Emergency infusion of catecholamines into bone marrow. *Am J Dis Child* 138: 810–811
55. Simmons CM, Johnson NE, Perkin RM, Stralen D van (1994) Intraosseous extravasation complication reports. *Ann Emerg Med* 23: 363–366
56. Peck KR, Altieri M (1988) Intraosseous infusions: an old technique with modern applications. *Pediatr Nursing* 14: 296–298
57. Mofenson HC (1988) Guidelines for intraosseous infusions. *J Emerg Med* 6: 143–146
58. Orlowski JP, Porembka DT, Gallagher JM (1989) The bone marrow as a source of laboratory studies. *Ann Emerg Med* 18: 1348–1351
59. Grisham J, Hastings C (1991) Bone marrow aspirate as an accessible and reliable source for critical laboratory studies. *Ann Emerg Med* 20: 1121–1124
60. Ummerhofer W, Frei FJ, Urwyler A (1994) Are laboratory values in bone marrow aspirate predictable for venous blood in pediatric patients? *Resuscitation* 27: 123–128
61. Hurren JS (2000) Can blood taken from intraosseous cannulations be used for blood analysis? *Burns* 26: 727–730
62. Unger H, Spivey WH (1986) Comparison of intraosseous and intravenous CBC and Astra 8 in swine (Abstract). *Ann Emerg Med* 15: 647
63. Johnson L, Kissoon N, Fiallos M et al. (1999) Use of intraosseous blood to assess blood chemistries and hemoglobin during cardiopulmonary resuscitation with drug infusions. *Crit Care Med* 27: 1147–1152
64. Brickman KR (1992) Typing and screening of blood from intraosseous access. *Ann Emerg Med* 21: 414–417
65. Kissoon N, Rosenberg H, Gloor J (1993) Comparison of acid-base status of blood obtained from the intraosseous and central venous site during steady and low flow states. *Crit Care Med* 21: 1765–1769
66. Kissoon N, Peterson R, Murphy S (1994) Comparison of pH and carbon dioxide tension values of central venous and intraosseous blood during changes in cardiac output. *Crit Care Med* 22: 1010–1015
67. Brickman K, Rega P (1987) A comparative study of intraosseous, intravenous and intraarterial pH changes during hypoventilation in dogs. *Ann Emerg Med* 16: 510
68. Voelckel WG (2000) Intraosseous blood gases during hypothermia. Correlation with arterial, mixed venous and sagittal sinus blood. *Crit Care Med* 28: 2915
69. Kissoon N, Idris A, Wenzel V (1997) Intraosseous and central venous blood acid-base relationship during cardiopulmonary resuscitation. *Pediatr Emerg Care* 13: 250–253
70. Kiaer T, Gronlund J (1990) Effects of variation in systemic blood pressure on intraosseous pressure, PO₂, and PCO₂. *J Orthop Res* 8: 618–622
71. Abdelmoneim T, Kissoon N (1999) Acid-base status of blood from intraosseous and mixed venous sites during prolonged cardiopulmonary resuscitation and drug infusions. *Crit Care Med* 27: 1923
72. Ros SP (1991) Effect of intraosseous saline infusion on hematologic parameters. *Ann Emerg Med* 20: 243
73. Joffe M (1990) Blasts in peripheral blood with intraosseous infusion. *Pediatr Emerg Care* 6: 106
74. Spivey WH, Lathers CM, Malone D (1985) Comparison of intraosseous, central and peripheral routes of administration of sodium bicarbonate during CPR in pigs. *Ann Emerg Med* 14: 1135–1140
75. Schoffstall JM, Spivey WH, Davidheiser S (1989) Intraosseous crystalloid and blood infusion in a swine model. *J Trauma* 29: 384–387
76. Shoor PM, Berryhill RE, Benumof JL (1979) Intraosseous infusion: pressure-flow relationship and pharmacokinetics. *J Trauma* 19: 772–774
77. Goldstein B, Doody D, Briggs S (1990) Emergency intraosseous infusion in severely burned children. *Pediatr Emerg Care* 6: 195–197
78. Orlowski JP, Porembka DT, Gallagher JM et al. (1990) Comparison study of intraosseous, central intravenous, and peripheral intravenous infusions of emergency drugs. *Am J Dis Child* 144: 112–117
79. Warren DW, Kissoon N, Mattar A (1994) Pharmacokinetics from multiple intraosseous and peripheral intravenous site injections in normovolemic and hypovolemic pigs. *Crit Care Med* 22: 838–843
80. Tocantins LM (1940) Rapid absorption of substances injected into the bone marrow. *Proc Soc Exp Biol Med* 45: 292–296
81. Cameron JL, Fontanarrosa PB, Passalacqua AM (1989) A comparative study of peripheral to central circulation delivery times between intraosseous and intravenous injection using a radionuclide technique in normovolemic and hypovolemic canines. *J Emerg Med* 7: 123–127
82. Neufeld JD (1993) Comparison of intraosseous, central, and peripheral routes of crystalloid infusion for resuscitation of hemorrhagic shock in a swine model. *J Trauma* 34: 422–428

Das komplette Literaturverzeichnis ...

... finden Sie in der elektronischen Version dieses Beitrags unter
www.NotfallundRettungsmedizin.de